



Refrigeration



Air-Conditioning

Refrigerant expansion in air-conditioning and refrigeration: why an electronic expansion valve?

L'espansione del refrigerante in condizionamento e refrigerazione: perché una valvola di espansione elettronica?

Die Expansion des Kältemittels in Klima- und Kälteanwendungen: warum ein elektronisches Expansionsventil?

GB	3
I	12
D	19



Refrigerant expansion in air-conditioning and refrigeration: why an electronic expansion valve?

The traditional solution: - TEV

All refrigeration units, whether developed for the air-conditioning or refrigeration market, commonly use a traditional thermostatic expansion valve as the expansion device: this is the standard component fitted with a sensor bulb and, in more advanced models, a pressure fitting for external compensation.

This expansion device, hereinafter called the TEV (Thermostatic Expansion Valve), despite being functional and generally able to make the unit it is installed in "operational", has a number of characteristics that in many aspects limit the versatility of the installation and the performance that can be achieved.

Obviously, some categories of installation are more sensitive to the negative aspects of TEV control, due to the specifications of the installation, the operating parameters and/or the distribution of the load throughout the year.

The innovation: - EEV

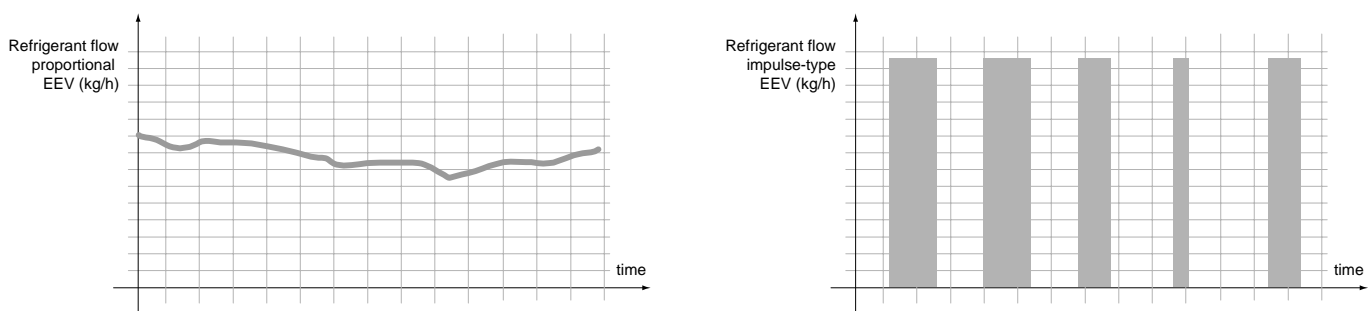
A solution to most, if not all of the shortfalls resulting from TEV control is the electronic expansion valve, hereinafter EEV¹ (Electronic Expansion Valve). This servo-controlled electro-mechanic device, which has for the last few years been widely available on the market, expands the flow of refrigerant in a variable manner, using commonly a pressure sensor and a temperature sensor (corresponding to the pressure fitting for compensation and the sensor bulb in the TEV). Both these sensors are fitted to the evaporator outlet, and the measurements are read and processed by a controller that decides the best degree of opening of the valve in real-time.

Types of EEV: - Proportional - Impulse

Various solutions exist for creating a variable flow of refrigerant, and generally all of these achieve the result by varying the surface of the passage through an orifice: some valves work by varying the stroke of a needle or other movable element (proportional valves), others completely close or open a fixed orifice for varying intervals of time (impulse or duty cycle valves).

From a strictly theoretical point of view, there is no difference between the various types of control if we consider a sufficiently long period of observation: nonetheless, the proportional type is preferable in terms of precision and control, in that modulation by impulses of refrigerant may cause problems of instability and poor efficiency².

The diagram below shows the methods and the results, in qualitative terms, of modulation using pulse modulated (PWM) and proportional EEVs.



Another remarkable difference between proportional and PWM EEVs is the propagation of pressure pulsations on the refrigerant lines, particularly in case of long piping (ex. Supermarkets application) and in presence of heat liquid-gas heat exchangers. Pressure pulsation may lead to unpredictable faults not really in the EEV itself but in the general piping system (liquid line, evaporator, distributor, heat exchanger,...).

¹ Also EXV.

² A duty cycle valve in any case creates an impulsive flow of refrigerant which only over a sufficiently long period of time generates a "variable" effect in a reasonably continuous manner.



EEV - Applications and characteristics

The topics dealt with here essentially involve all types of refrigeration unit in general, such as heat pumps and chillers for civil and industrial use, air-conditioners for shelters, for computer centres, telephone exchanges and close control units in general, cold rooms and refrigerated showcases for product displays.

What then are characteristics that make an EEV different from and better than a TEV?

1. **Compatibility with all types of refrigerant and a very wide capacity range**
2. **Precision in the modulation of the refrigerant flow**
3. **Microprocessor control**

These three characteristics may at a first glance not seem to justify the changeover from TEV to EEV control: however, when examining these more in detail, it can be seen how the electronic control of the flow of refrigerant resolves many problems that exist in the traditional types of control, and consequently brings a great number of benefits.

1. Compatibility with all types of refrigerant and a very extended control range

These characteristics drastically reduce the number of models of EEV that are used in the various units, as the fact that they are not linked to the type of fluid, together with the long stroke of the movable element in the more advanced EEVs, ensures an extremely versatile use of the control device, and specifically:

1.1 Consequent advantages

Logistics

- There is no distinction between valves for different types of refrigerant, as in the case of TEVs. Each electronic expansion valve is compatible with various types of refrigerants available on the market. In addition, some EEVs are also compatible with refrigerants that are currently less common, yet that will soon be used more widely, such as NH₃, CO₂ or hydrocarbons.
 - **Simplification in logistic terms**, due to a reduction in the number of codes, stock, orders, spare parts,...
- One EEV is able to work with a very wide range of cooling capacities³. To better understand what this means, simply look at a generic catalogue of TEVs to realise the number of different bodies, orifices and resulting combinations necessary to cover a small range of capacities.
- **Simplification in logistic terms**, due to a reduction in the number of codes, stock, orders, spare parts, ... → Refrigeration units that are normally shared in modules of two or more compressors for modulation of the cooling capacity can be significantly simplified using just one (modulating) compressor, as the EEV is able to manage an extremely variable range of capacities without any problems in terms of the quality of control.
 - In recent and currently-growing applications such as units served by compressors with continuous or stepped capacity control (screw, piston or scroll compressors), the use of a TEV often involves considerable problems of swings even after a reduction in capacity of just 25%. These swings significantly reduce the quality of the service provided by the unit in terms of the consistency of cooling capacity delivered and the working life of the unit itself.

³ For example, the E²V-18 model E²V easily covers a range of compressors from 5kW to 14kW for air-conditioning with R22 (Te=7°C and Tc=54°C), from 4kW to 13kW for refrigeration with R22 (Te=-23°C and Tc=38°C) and from 2kW to 7kW with R404a (Te=-23°C and Tc=38°C).



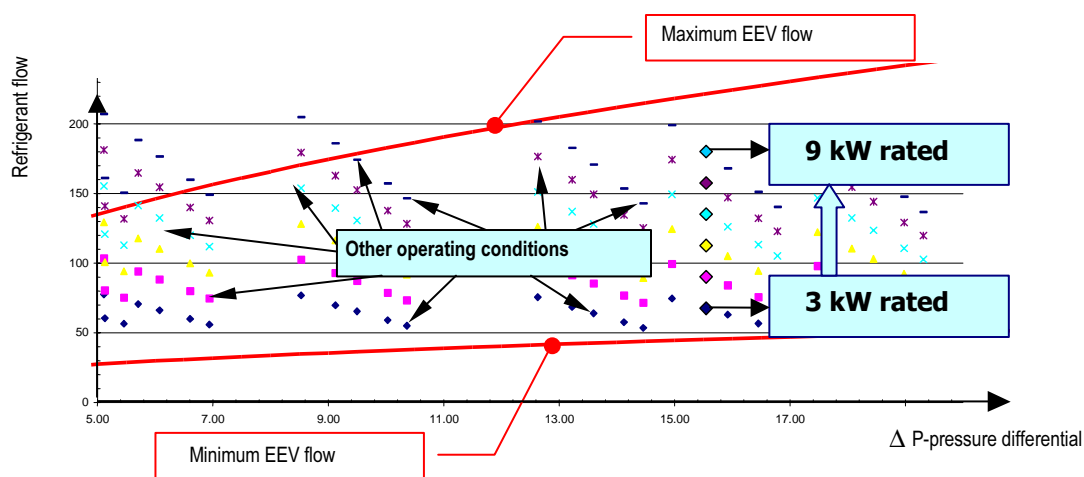
Control range

- One EEV is able to serve the above range of compressors not only in the rated or design conditions, but also in an extremely extended range of operating conditions.

The sizing of a TEV, on the other hand, is linked very closely to the unit being used and rated design conditions.

When the elements making up the unit are suitably sized (heat exchangers etc.) the operating conditions of the unit in fact have no limits and the valve is not affected by over/under-rating.

The graph below, created using a valve from the Carel E²V family as an example, illustrates the characteristics and the benefits described above. The x-axis represents the operating ΔP of the expansion valve⁴. The y-axis represents the flow of refrigerant (R22) in kg/h: this indicates both the minimum and maximum flow-rates of the valve (red lines) and the capacity delivered by the compressors (different coloured dots).



The graph shows the capacities of various compressors (from 3 to 9kW in rated conditions for air-conditioning⁵): the larger dots represent the rated conditions.

From the diagram it is apparent that the valve in question (Carel E²V-14) is able to manage the compressors examined in virtually all operating conditions.

These observations can obviously also be extended to other EEVs, as long as the control range is effectively as extended as that of the Carel E²V.

→ **No problems for different climates, operating temperatures, variation in the set point, ...**

→ Specific applications, such as those in the food industry, require the use of refrigeration units in operating conditions that differ significantly, often in terms of different evaporation temperature conditions. Control by TEV requires the doubling of the expansion portion of the refrigerant circuit, while EEV potions adjustment drastically reduces the complexity and the cost of the installation, allowing operation without difficulty over the entire field of operation envisaged.

⁴ In practice, the value of the condensing pressure minus the evaporator pressure, expressed in bars.

⁵ The observations made are in any case also valid for refrigeration applications.



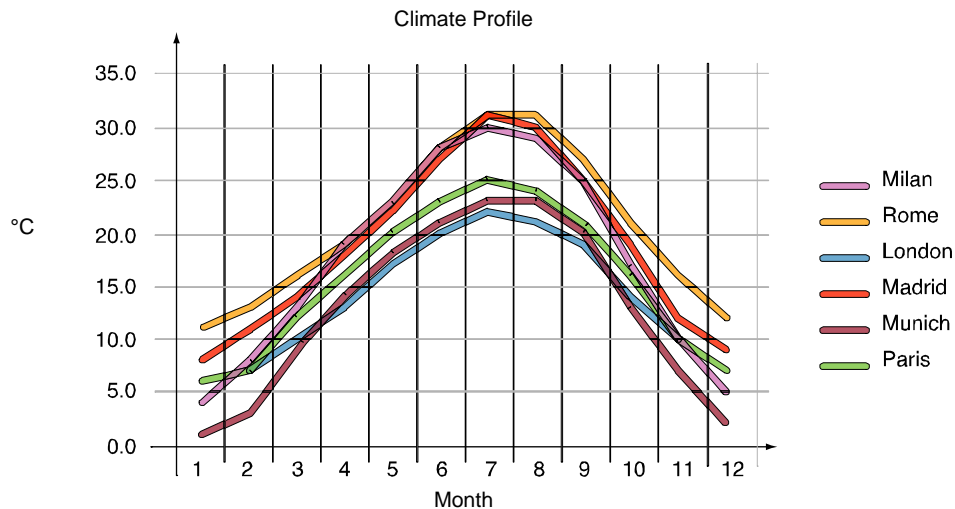
Energy Saving

- A sub-case of the previous point that deserves special mention is the operation of the units at significantly low condensing pressures: in fact, the only limits with an EEV are the minimum $\square P$ compatible with the compressor used and the outside temperature. As shown above, a TEV can normally work in a very restricted field around the rated values, and in this case it is not possible to exploit low outside temperatures to increase the efficiency of the refrigeration unit.

→ With the EEV, **considerable energy savings** can be achieved to increase average annual capacity delivered by the compressor (even by 25%⁶). In fact, an increase of around 2% in efficiency can be expected for each °C decrease in condensing temperature. This is because the compressors controlled in ON/OFF mode have reduced ON times, while those with capacity control or inverter control operate at a lower rate for the same capacity.

Specific mention should be made of the use of EEV technology in **technological refrigeration units (for cooling dies, close controls,...)** and in **supermarkets** or in any case **large refrigerated volumes** for the storage of foodstuffs: in these categories the energy savings obtainable are quite considerable and certainly interesting for the end user, as well as for the manufacturer or OEM, who can propose a highly innovative solution.

As an example, the climate profile of various European cities is shown below: the periods that allow especially low condensing temperatures are quite extended even in cities traditionally considered as temperate; this confirms that the savings obtainable with EEV control technology are in any case often quite significant.



⁶ A saving of 25% is a likely estimate for air-conditioning and refrigeration units in operation all year round in temperate climates. For seasonal operation (e.g. chillers for civil use) the savings are lower but in any case certainly interesting.

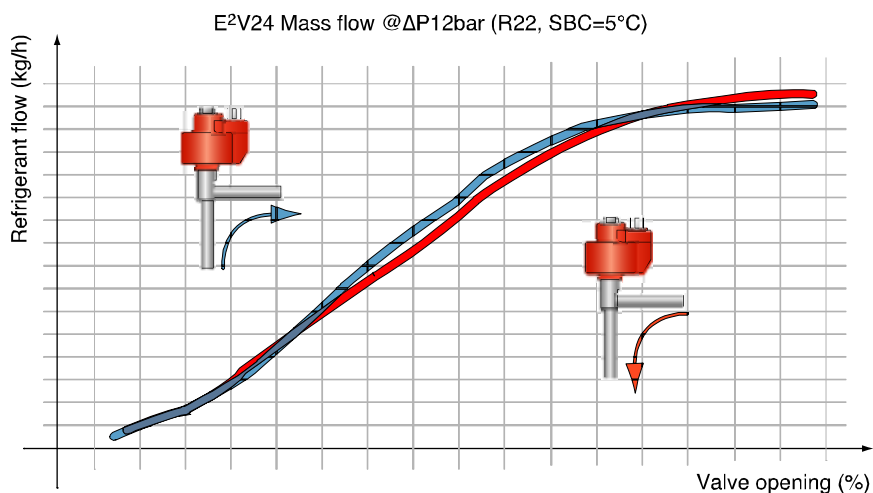


2. Precision in the modulation of the refrigerant flow

The mechanical characteristic of the EEV that allows a wide control range (in the best proportional models) is the long stroke of the control nozzle, which may reach the tens of millimetres and more: the control is thus much more precise even than the better traditional TEVs.

The control of the refrigerant flow obviously benefits from this significant resolution and precision: in all refrigeration systems, both in the air-conditioning and refrigeration markets, the attainment of more stable superheat control⁷, and, when useful, at a lower value than in the case of a TEV, is undoubtedly an advantage.

Special mention should be made of bi-directional valves, which can provide a linear flow of refrigerant in reference to the opening of the valve in both directions of operation: the diagram below shows experimental data from flow tests performed on a Carel E²V-24 EEV.



The almost perfect linearity of the flow is evident at both high and low degrees of opening.

Analysing in detail the possibility offered by precise modulation of the refrigerant for superheat control, the more important aspects are described below.

2.1 Consequent advantages

Stable superheat (SH)

- The superheat control attainable with an EEV is in most cases more stable and more precise than with a TEV: the set point is maintained as the operating conditions, season and the operating mode of the refrigeration unit change.

→ Constant cooling capacity of the unit with rapid stabilisation after start-up. No need to re-set the set point as the working conditions change.

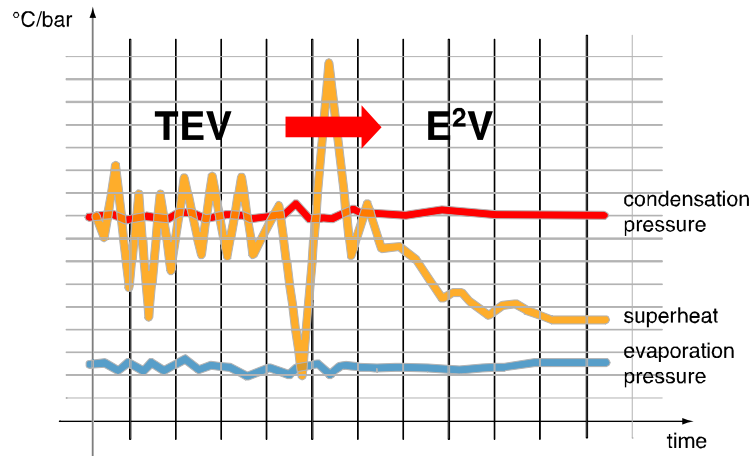
⁷ Superheat is the difference between the thermometric and the manometric temperature at the evaporator outlet.



Low superheat (SH)

- As well as stability, the superheat value can also be lowered by decreasing the set point to the desired value: this feature of EEV control does not involve the risk of swings (or hunting) that are typical of a TEV.

The graph below shows the effect of "hot" switching between the operation of a chiller with a TEV to an EEV: The lowering of the average superheat value and the stability of the value itself and the operating pressure are clearly evident.

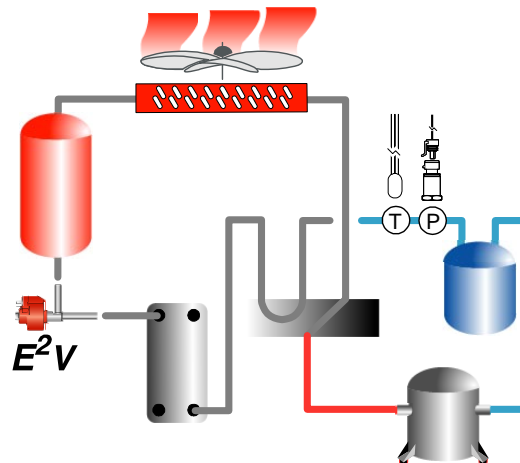


→ The lowering of the superheat set point often means an increase in the capacity delivered by the unit due to the consequent increase in the evaporator pressure and the better use of the exchange surface of the evaporator⁸.

Bi-directional

- If a bi-directional EEV is used (such as the Carel E²V) in a reverse-cycle heat pump, only one EEV needs to be installed instead of the two TEVs in the traditional solution.

→ The case of reverse-cycle heat pumps is an ideal application for the EEV, in that, as well as the other advantages that are common to all applications and the corresponding economic and technical benefits, there is a reduction in installation costs due to the use of just one valve and the simplification of the refrigerant circuit.



⁸ The value of this increase is not significant when the set point is less than 5°C and therefore it is preferable, except in special cases, to operate with set points above 4°C, furthermore ensuring more stable control.



3. Microprocessor control

The fact that an electronic expansion valve is controlled by a microprocessor that acts as both the generator of the sequences for the operating steps and as the intelligence device that decides the current refrigerant demand at the evaporator, may seem an obvious and redundant statement, as the valve in question is, indeed, electronic.

In reality, the possibilities offered by the fact that the EEV is positioned exclusively at the point decided by the controller go beyond simple superheat control as offered by traditional TEV technology: in this way, the above statement should in fact read "... as the intelligence device that decides the current and useful refrigerant demand ...".

This means that the use of the superheat value alone as the control signal is not always necessarily the best solution: control routines, such as MOP (Maximum Operating Pressure) and LOP (Lowest Operating Pressure), are the first that come to mind, while many others are possible with microprocessor control. In any case, these too can be significantly improved using an EEV compared to a TEV. In addition, the possibility of forcing the EEV to the desired position allows the possibility of many different uses of the technology described here, customised as desired according to the specific technical requirements: two set points, special start or stop procedures, specific situations such as flooded evaporators, etc.

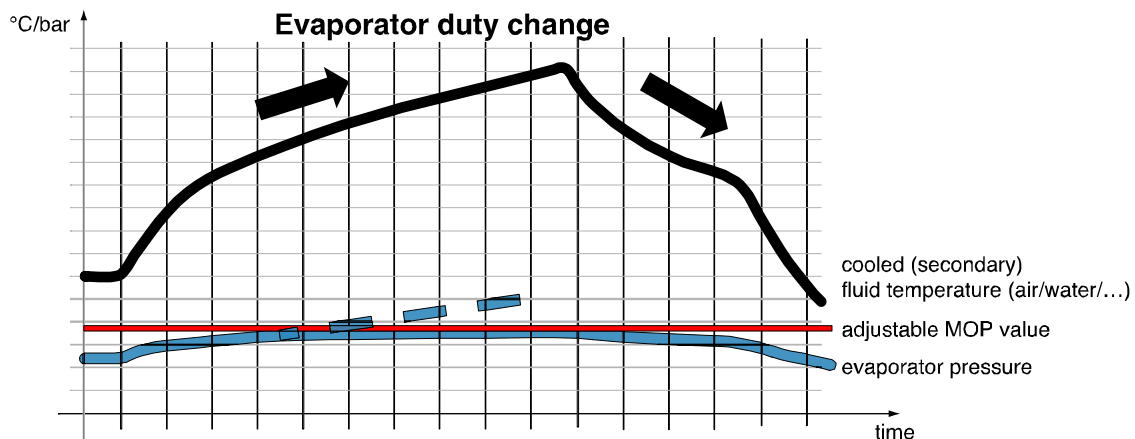
Indeed, there are no limits to the possible evolutions of the control SW.

The following are the characteristics relating to the control software implemented in the latest generation Carel controllers available for the refrigeration and air-conditioning markets, in advanced system (pLAN and local networks), stand-alone and built-in versions.

3.1 EEV advantages

MOP(Maximum Operating Pressure)

- The MOP function limits the maximum evaporator pressure, the value of which is available from the pressure probe and read directly by the EV Driver for calculating the superheat value. The control routine can be configured in terms of the threshold and gain, and maintains the pressure below or equal to the value set for the corresponding parameter in a precise and stable manner, as can be seen in the following diagram.



The typical action of this control routine is the progressive closing of the expansion valve, so as to limit the evaporator pressure: this intrinsically involves an increase in the superheat value and the temperature of the gas at the evaporator outlet (the temperature of the superheated gas or the suction temperature).

Uncontrolled action may lead to dangerous values for the safeguarding of the compressor, and for this reason the procedure must feature a limit for the maximum value of the superheated gas: this function has been implemented in the Carel control algorithms, meaning unprecedented functionality and safety.

→ Starts at high evaporator loads, in total safety for the compressor: dangerously high evaporator pressure values are avoided.

→ "Soft" and precise control of the evaporator pressure, without steps or discontinuity.



LOP(Lowest Operating Pressure)

- Similarly to the MOP function, the LOP maintains the evaporator pressure above a settable threshold with a settable gain: if a transient of the normal operating conditions or an excessive superheat set point or any other phenomenon leads to excessively low pressure values, this routine progressively opens and finely controls the expansion valve.

Nonetheless, the routine should not be considered as a "control" in the strictest sense: it is essentially a procedure that manages the transient states.

In addition, as the action works in the direction of opening, in the event where there are no limits, excessive degrees of opening may be reached, thus endangering the safety of the compressor due to the possible return of fluid: the LOP routine therefore features an intrinsic safety mechanism that prevents the opening of the valve in the event of too low superheat values.

HiTcond

- The special HiTcond function, patented by Carel, compensates for temporary increases in the condensing pressure/temperature by limiting the capacity of the compressor via the EEV.

In practice, this involves the controlled closing of the expansion valve to reduce the flow of refrigerant: this leads to a reduction in the cooling capacity at the evaporator, in the heat to be given up by the condenser and consequently a reduction in the condensing temperature.

→ In technological air-conditioning applications (for example, shelters) the units often work in pairs to prevent the absence of service if one of the two units is shut down: in the event of high outside temperatures, both the units may shut down due to the activation the high pressure switch. The HiTcond routine can be used to prevent this problem, thus ensuring continuous service.

→ The above is also valid for other applications, especially those that have no other way of reducing the cooling capacity, such as capacity-control for screw compressors, inverters and other systems.

Low noise

- One special feature of the electronic expansion valve involves the possibility of intentionally under-supplying the evaporating circuit and as a consequence the compressor.

This leads, as in the case of the HiTcond routine, to a reduction in the thermal load to be given up by the condenser, which can consequently operate with its fans at low speed and thus reduced noise: this consideration, related to the fact that night-time outside temperatures are often lower those during the day, leads to the extended applicability of this function in cases where there are problems of noise in the vicinity of the unit.

In fact, in most cases a low outside temperature leads to a reduction in the cooling requirement (for example, due to the absence of radiance) and thus a reduction in the cooling capacity does not, as seen above, create problems of poor service.

Obviously, operating in this way does not lead to reduced energy consumption: EEV technology allows the operating conditions of the refrigeration units to be controlled as desired, and users who choose Low Noise operation at night are probably more sensitive to the noise factor than to the high efficiency attainable in the same conditions.

→ All refrigeration units can use this function, while applications such as air-conditioning units for telephone exchanges, GSM or UMTS radio links, etc. especially benefit from this possibility, due to their usual proximity to inhabited areas.



L'espansione del refrigerante in condizionamento e refrigerazione: perché una valvola di espansione elettronica?

La tradizione: - TEV

Tutte le unità frigorifere, sia che siano sviluppate per il mercato del condizionamento o della refrigerazione, hanno utilizzato diffusamente come dispositivo di espansione la valvola di espansione termostatica di tipo tradizionale: ci si riferisce, quindi, al componente standard dotato di bulbo sensore e, nei modelli più evoluti, di una presa di pressione per la compensazione esterna.

Questo organo di laminazione, in seguito TEV (Thermostatic Expansion Valve), pur essendo ovviamente funzionale e generalmente in grado di "rendere operative" le unità nelle quali è installato, presenta alcune caratteristiche che limitano in molti aspetti la versatilità dell'impianto e le performance ottenibili.

Ovviamente alcune categorie di impianto sono più sensibili agli aspetti sfavorevoli della regolazione tramite TEV, sia per specifiche di impianto, parametri operativi e/o distribuzione del carico di lavoro nelle stagioni annuali.

L'innovazione: - EEV

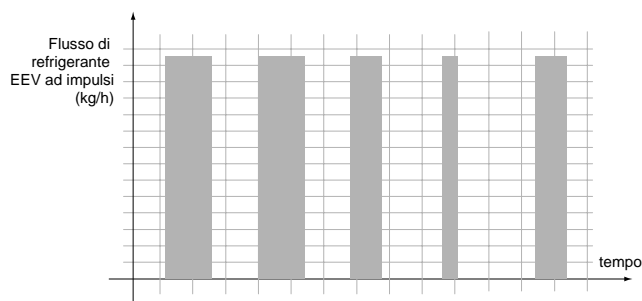
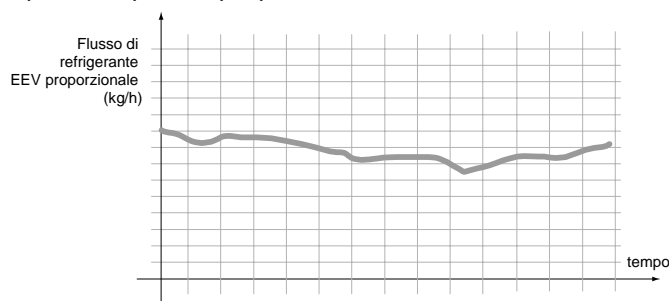
Una soluzione alla maggior parte, se non alla totalità, di queste lacune della regolazione con TEV è la valvola di espansione elettronica, in seguito EEV⁹ (Electronic Expansion Valve). Questo dispositivo elettronico servozionato, ormai da qualche anno disponibile in modo diffuso nel mercato, lamina il flusso di refrigerante in modo variabile utilizzando come organi sensori (che per la TEV sono la presa di pressione per la compensazione e il bulbo sensore) un sensore di pressione ed uno di temperatura. Entrambi i sensori sono applicati all'uscita dell'evaporatore, letti ed elaborati da un controllore che decide in real-time l'apertura ottimale della valvola.

Tipi di EEV: - Proporzionale - Impulsi

Esistono varie soluzioni per ottenere un flusso variabile di refrigerante e tutte generalmente ottengono il risultato variando la superficie di passaggio attraverso un orificio: alcune valvole lavorano variando la corsa di un otturatore a spillo o di forma diversa (valvole *proporzionali*), altre chiudono ed aprono completamente l'orificio in intervalli variabili di tempo (valvole ad *impulsi* o a *duty cycle*).

Da un punto di vista strettamente teorico non c'è differenza nell'uno o nell'altro tipo di regolazione se si considera un periodo di tempo di osservazione sufficientemente lungo: tuttavia una regolazione di tipo proporzionale è preferibile in termini di precisione e regolazione, in quanto una modulazione ad impulsi di refrigerante può causare problemi di instabilità e scarsa efficienza¹⁰.

Nel diagramma a seguire è indicato in termini qualitativi il metodo ed il risultato della modulazione per EEV di tipo ad impulsi e proporzionale.



Un'altra notevole differenza tra valvole di tipo proporzionale e PWM è la non propagazione di pulsazioni di pressione sulle linee del refrigerante, particolarmente fastidiose soprattutto in caso di linee molto lunghe (es. supermercati) e presenza di scambiatori di calore liquido-gas. Le pulsazioni di pressione possono portare a malfunzionamenti non tanto nelle EEV stessa quanto nel sistema di connessioni nel suo complesso (linea del liquido, distributore, evaporatore, scambiatore di calore,...).

⁹ Anche EXV.

¹⁰ Una valvola a duty cycle determina comunque un flusso impulsivo di refrigerante che solo se integrato in un tempo sufficientemente lungo genera un effetto "variabile" in modo all'incirca continuo.



EEV - Applicazioni e caratteristiche

Gli argomenti che verranno trattati riguardano essenzialmente tutte le unità frigorifere in genere, come le pompe di calore ed i refrigeratori per uso civile ed industriale, i condizionatori per shelter, per centri di calcolo, telefonia e più in generale le close control units, le celle frigorifere ed i banchi refrigerati per esposizione.

Ma quali sono quindi le caratteristiche che rendono una EEV diversa e sempre migliore di una TEV?

Compatibilità con ogni refrigerante e range di regolazione molto esteso

Precisione di modulazione del refrigerante

Regolazione a microprocessore

Queste tre caratteristiche potrebbero sembrare a una prima impressione poco rilevanti per giustificare il passaggio da una regolazione TEV ad una EEV, ma solo se valutate in modo insufficientemente approfondito: scendendo nel dettaglio, si nota che mediante una regolazione elettronica del flusso di refrigerante vengono risolti molti inconvenienti della regolazione tradizionale e che vengono conseguiti altrettanti benefici.

1. Compatibilità con ogni refrigerante e range di regolazione molto esteso

Queste caratteristiche limitano drasticamente il numero di modelli di EEV da utilizzare nelle varie unità, considerando che l'essere svincolate dal tipo di fluido e la lunga corsa dell'otturatore nei modelli di EEV più avanzati consente un utilizzo estremamente versatile di quest'organo di regolazione, in particolare:

1.1 Vantaggi conseguenti

Logistica

- Non esiste distinzione di valvole per tipo di refrigerante come per le TEV. Ogni valvola di espansione elettronica è compatibile con svariati refrigeranti in commercio. Inoltre, alcune EEV sono compatibili anche con refrigeranti meno comuni oggi, ma di prossima diffusione, come NH₃, CO₂ o idrocarburi.
→ **Semplificazione logistica** per riduzione codici, magazzino, ordini, ricambi,...
- Una EEV è in grado di asservire un range molto elevato di potenze frigorifere¹¹. Per meglio comprendere cosa questo significhi, basta considerare un generico catalogo di TEV per rendersi conto del numero di corpi, di orifici e delle relative combinazioni necessarie a coprire un'esigua gamma di potenze.
- **Semplificazione logistica** per riduzione codici, magazzino, ordini, ricambi,... → Unità frigorifere che vengono normalmente divise in moduli di due o più compressori per consentire una modulazione della capacità frigorifera possono essere notevolmente semplificate utilizzando un solo compressore (modulante), essendo la EEV in grado di gestire una potenza estremamente variabile senza alcun inconveniente nella qualità della regolazione.
→ In applicazioni di recente e attuale espansione come le unità asservite da compressori parzializzabili in modo continuo o compressori a gradini (siano essi a vite, a pistoni o di tipo scroll), l'utilizzo di una TEV presenta spesso notevoli problemi di pendolazioni anche dopo la riduzione della potenza di solo il 25%. Queste pendolazioni riducono notevolmente la qualità del servizio dall'unità stessa in termini di costanza della resa frigorifera e di salvaguardia della vita dell'unità stessa.

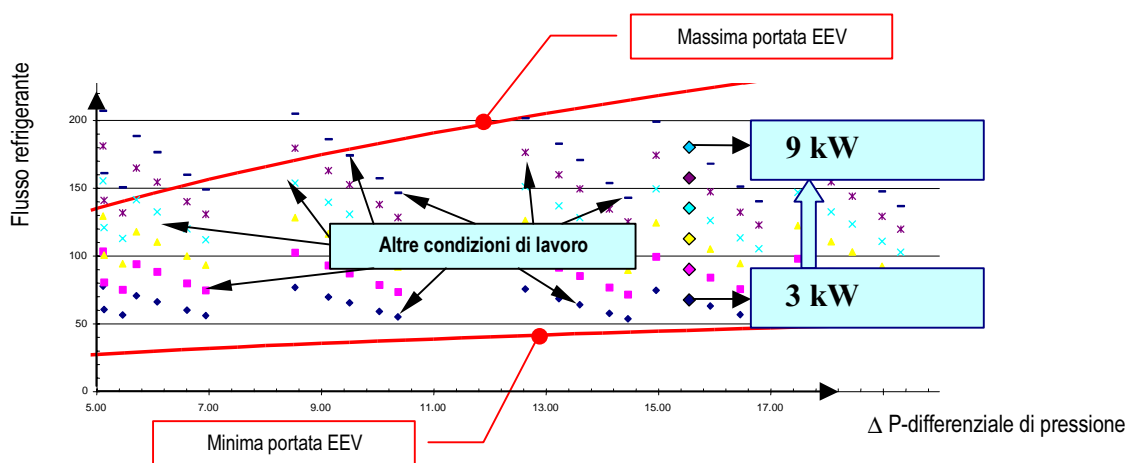
¹¹ Ad esempio la E²V modello E²V-18 copre egregiamente compressori di taglia da 5kW a 14kW in condizionamento con R22 (Te=7°C e Tc=54°C), da 4kW a 13kW in refrigerazione con R22 (Te=-23°C e Tc=38°C) e da 2kW a 7kW con R404a (Te=-23°C e Tc=38°C).



Range di regolazione

- Una EEV è in grado di asservire il range di compressori di cui sopra non solo nelle relative condizioni nominali o di progetto, ma in un campo estremamente esteso di condizioni operative. Il dimensionamento di una TEV invece è legato in modo molto stretto all'unità da servire e dalle condizioni di progetto nominale della stessa. Quando gli elementi dell'unità sono dimensionati adeguatamente (scambiatori di calore ecc.) le condizioni di lavoro dell'unità stessa sono di fatto senza limiti e la valvola non soffre di sovra/sotto-dimensionamento.

Il grafico sottostante, ricavato utilizzando una valvola della famiglia Carel E²V come esempio, illustra le caratteristiche ed i benefici sopra descritti. Sulle ascisse è indicato il ΔP di lavoro della valvola di espansione¹². Sulle ordinate è indicato il flusso di refrigerante (R22) in kg/h: questo valore indica sia le portate minime e massime della valvola (linee rosse) che la resa dei compressori (punti di diverso colore).



Sul grafico sono state tracciate le rese di vari compressori (da 3 a 9kW in condizioni nominali per il condizionamento¹³); i punti di dimensione maggiore rappresentano le condizioni nominali. Dal diagramma si nota evidentemente che la valvola esaminata (Carel E²V-14) è in grado di gestire i compressori esaminati virtualmente in ogni condizione operativa. Le considerazioni fatte ovviamente sono estendibili anche ad altre EEV a condizione che il range di regolazione sia effettivamente così esteso come quello possibile con una Carel E²V.

→ **Nessun inconveniente per zone climatiche, temperature di esercizio, variazione set point di lavoro, ...**

→ Applicazioni particolari, come quelle nell'industria alimentare, esigono l'utilizzo di unità frigorifere in situazioni operative notevolmente differenti tra di loro, spesso per diverse condizioni della temperatura di evaporazione. Una regolazione tramite TEV comporta necessariamente la duplicazione del circuito frigorifero mentre la tecnologia EEV riduce drasticamente la complessità ed il costo dell'impianto potendo lavorare egregiamente in tutto il campo di lavoro previsto.

¹² In pratica il valore della pressione di condensazione meno quello della pressione di evaporazione espresse in bar.

¹³ Le considerazioni fatte valgono comunque per applicazioni in refrigerazione.



Risparmio energetico

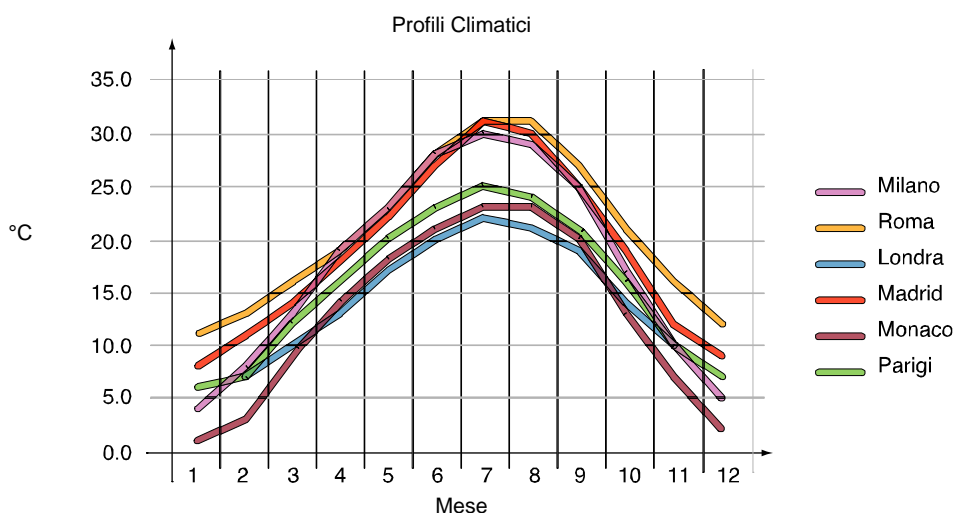
- Un sottocaso del punto precedente che merita una nota particolare è l'esercizio dell'unità a pressioni di condensazioni notevolmente basse: di fatto gli unici limiti con una EEV sono il ΔP minimo compatibile con il compressore utilizzato e la temperatura esterna.

Come riportato sopra, una TEV normalmente può lavorare in un intorno molto ristretto dei suoi valori nominali e con essa non è possibile sfruttare le basse temperature esterne per aumentare l'efficienza dell'unità frigorifera.

→ Con la EEV è possibile ottenere **notevoli risparmi energetici** per l'aumento di resa media annuale del compressore (anche del 25%¹⁴). È infatti prevedibile un aumento di efficienza nell'ordine del 2% per ogni °C di temperatura di condensazione in meno. Questo perché il compressore pilotato ad ON/OFF riduce il tempo di ON, mentre quello parzializzato o in regolazione ad inverter assume un regime di funzionamento minore a parità di resa.

Meritano una rilevo particolare gli utilizzi della tecnologia EEV in **unità frigorifere di tipo tecnologico (raffreddamento stampi, close controls,...)** e in **supermercati** o comunque **grandi volumi refrigerati** di stoccaggio di derrate alimentari: per queste categorie i risparmi energetici ottenibili sono veramente notevoli e di sicuro interesse per l'utente finale, ma anche per il costruttore o OEM in grado di proporre una soluzione altamente innovativa.

A titolo di esempio si riporta il profilo climatico di varie città europee: i periodi che consentono temperature di condensazione particolarmente basse sono abbastanza estesi anche in città tradizionalmente considerate come temperate, questo a conferma che il risparmio ottenibile con la tecnologia di regolazione ad EEV è comunque spesso rilevante.



¹⁴ Un risparmio del 25% è una stima verosimile per unità di condizionamento e refrigerazione in funzione tutto l'anno in regimi climatici temperati. Per unità in funzionamento stagionale (per es. chiller per uso civile) il risparmio è inferiore ma comunque sicuramente interessante.

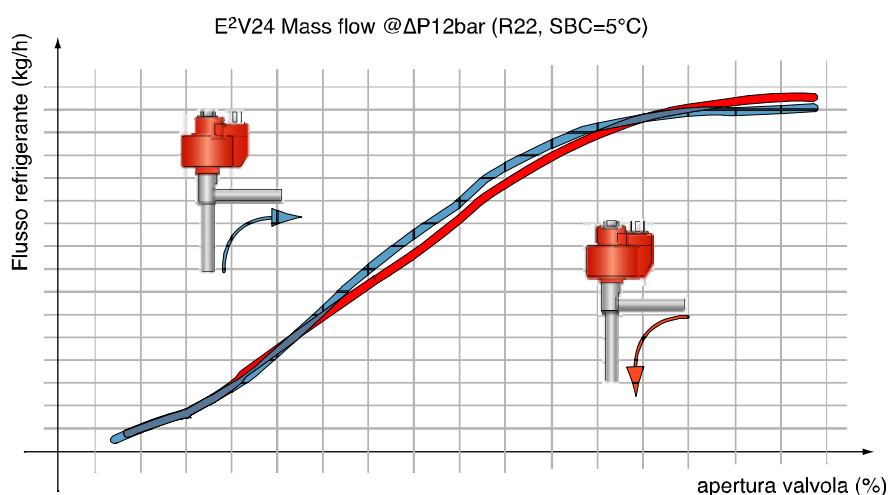


2. Precisione di modulazione del refrigerante

La caratteristica meccanica della EEV di consentire un'ampia gamma di regolazione (nei modelli migliori di tipo proporzionale), è dovuta alla lunga corsa dell'ugello di regolazione che può arrivare alla decina di millimetri ed oltre: si parla quindi di una regolazione molto più precisa anche della migliore delle tradizionali TEV.

La regolazione del flusso di refrigerante non può che trarre beneficio da questa notevole risoluzione e precisione: in tutti gli impianti frigoriferi, sia nel mercato del condizionamento che in quello della refrigerazione, l'ottenimento di una regolazione del surriscaldamento¹⁵ più stabile e, quando opportuno, ad un valore più basso rispetto all'utilizzo di una TEV, è senz'ombra di dubbio un vantaggio.

Un merito a parte spetta alle valvole di tipo bidirezionale, in grado di fornire in entrambi i versi di funzionamento un portata di refrigerante con caratteristica lineare rispetto all'apertura: di seguito si riporta il diagramma sperimentale ricavato da un prova di portata di una EEV Carel di tipo E²V-24.



Risulta evidente la quasi perfetta linearità della portata con l'apertura sia ad alti che bassi valori della stessa.

Analizzando nel dettaglio le possibilità offerte da una precisa modulazione del refrigerante per la regolazione del surriscaldamento, si riportano gli aspetti più salienti di seguito.

2.1 Vantaggi conseguenti

Surriscaldamento stabile (SH)

- La regolazione del surriscaldamento ottenibile con una EEV è nella maggior parte dei casi più stabile e controllata che non con una TEV: il set-point viene mantenuto al variare delle condizioni di lavoro, della stagione e del regime dell'unità frigorifera.

→ Resa frigorifera dell'unità costante e con rapida stabilizzazione dopo l'avvio. Nessuna necessità di ritardare il set-point di lavoro al variare delle condizioni al contorno.

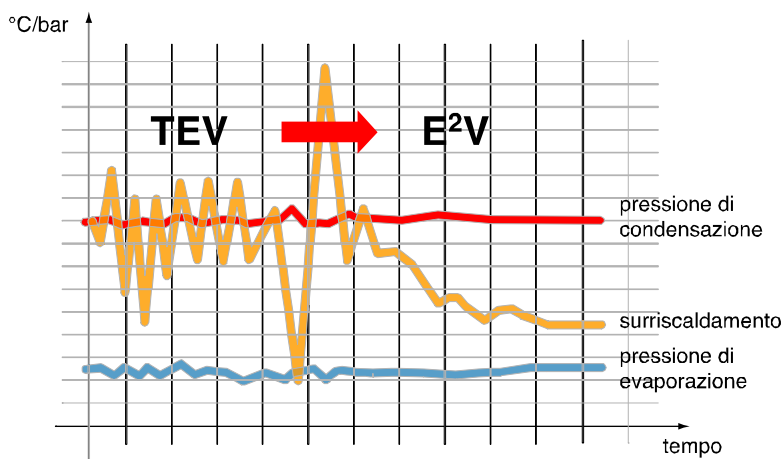
¹⁵ Surriscaldamento è la differenza tra la temperatura termometrica e quella manometrica in uscita dall'evaporatore.



Surriscaldamento basso (SH)

- Oltre alla stabilità, è possibile contare su una riduzione del surriscaldamento riducendone il set-point al valore desiderato: questa possibilità della regolazione con EEV non porta con sé il pericolo di pendolazioni (o *hunting*) tipico di una TEV.

Nel grafico sotto riportato si nota l'effetto di uno switch "a caldo" tra il funzionamento di un'unità chiller con TEV a EEV: l'abbassamento del valore medio del surriscaldamento e la stabilità dello stesso e delle pressioni di lavoro sono palesi.

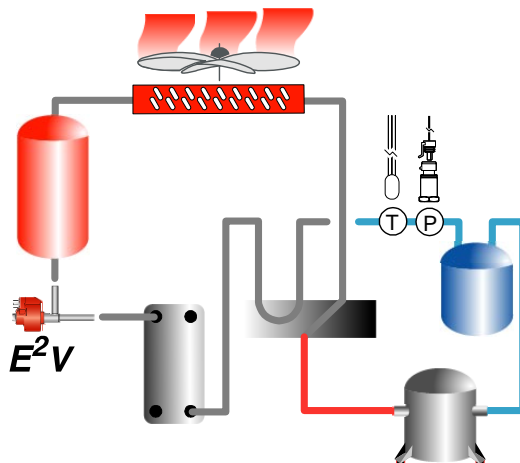


→ La riduzione del set-point del surriscaldamento ha spesso come conseguenza l'aumento della resa frigorifera dell'unità per il conseguente aumento della pressione di evaporazione e per il migliore sfruttamento della superficie di scambio dell'evaporatore ¹⁶.

Bidirezionali

- Nel caso si utilizzi una EEV bidirezionale (come la E2V Carel) in una pompa di calore reversibile è possibile installare una sola valvola di espansione EEV al posto delle due TEV nella soluzione tradizionale.

→ Il caso della pompa di calore reversibile è particolarmente indicato per l'utilizzo di una EEV, in quanto, oltre ai vantaggi comuni a tutte le applicazioni ed ai relativi benefici economici e tecnici, è possibile una riduzione dei costi di impianto sia per l'assenza di una seconda valvola che per la semplificazione del circuito del refrigerante.



¹⁶ Il valore di questo aumento è percentualmente non rilevante quando in set-point è inferiore a 5°C ed è quindi preferibile, salvo casi particolari, impostare un set-point superiore ai 4°C privilegiando una regolazione comunque più stabile.



3. Regolazione a microprocessore

Il fatto che una valvola di espansione elettronica sia pilotata da un microprocessore che funge sia da generatore della sequenza dei passi (o *step*) da eseguire che da intelligenza che decide il fabbisogno attuale di refrigerante all'evaporatore, potrebbe sembrare una considerazione ovvia ed intrinseca al fatto che la valvola in questione è, appunto, elettronica.

In realtà, le possibilità offerte dal fatto che la EEV si posiziona solo ed esclusivamente dove viene deciso dal controllo vanno ben al di là della semplice regolazione del surriscaldamento come offerto dalla tecnologia tradizionale a TEV: in questi termini la frase sopra andrebbe corretta con "... intelligenza che decide il fabbisogno **attuale e opportuno** di refrigerante ...".

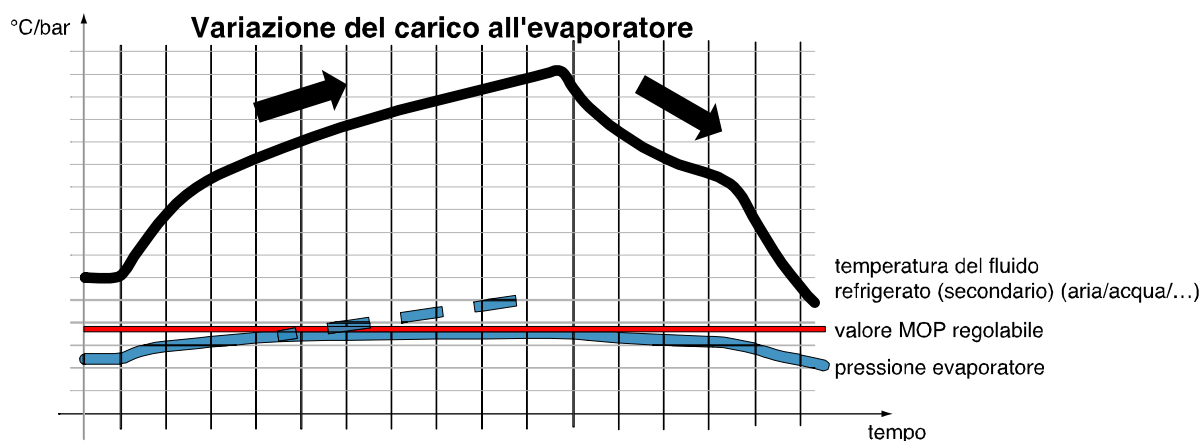
Questo a significare che non è detto che limitarsi all'utilizzo del solo valore del surriscaldamento come segnale di regolazione sia la scelta migliore: routine di controllo, quali MOP (Maximum Operating Pressure) e LOP (Lowest Operating Pressure), sono le prime cui si potrebbe pensare, ma altre ancora sono possibili con un controllo a microprocessore. In ogni caso anche le stesse sono notevolmente migliorabili con una EEV rispetto a quelle ottenibili con una TEV. Inoltre, la possibilità di imporre alla EEV una posizione desiderata lascia aperta la possibilità a molteplici utilizzi della tecnologia qui descritta, customizzati a piacere a seconda delle esigenze tecniche del caso: doppio set-point, particolari procedure di avvio o di arresto, situazioni specifiche come evaporatori allagati, ecc. Di fatto non esiste limite alle possibili evoluzioni del SW di regolazione.

Si riportano di seguito le caratteristiche relative al software di regolazione implementato nei controlli Carel di ultima generazione, disponibili per il mercato della refrigerazione e del condizionamento in versione sistemica avanzata (pLAN e reti locale), stand-alone e built-in.

3.1 Vantaggi conseguenti

MOP (Maximum Operating Pressure)

- La funzione di MOP limita verso l'alto la pressione di evaporazione, il cui valore è disponibile tramite la sonda di pressione letta direttamente dall'EV Driver per il calcolo del surriscaldamento. La routine di regolazione è configurabile in termini di soglia e di guadagno o energia di intervento e mantiene la pressione al di sotto o pari al valore impostato nell'apposito parametro in modo preciso e stabile, come si nota nel diagramma seguente.



L'azione tipica di questo controllo si manifesta con una chiusura progressiva della valvola di espansione, in modo da contenere la pressione di evaporazione: questo comporta in maniera intrinseca un aumento del surriscaldamento e della temperatura del gas in uscita dell'evaporatore (o temperatura del gas surriscaldato o in aspirazione).

Un'azione incontrollata potrebbe portare a valori pericolosi per la salvaguardia del compressore e per questo motivo il controllo andrebbe dotato di un limite al valore massimo raggiungibile dal gas surriscaldato: questa funzione è stata implementata negli algoritmi di regolazione Carel per una funzionalità ed una sicurezza senza precedenti.

→ Partenze a carico elevato all'evaporazione in totale sicurezza per il compressore: vengono evitate pericolosi valori elevati nella pressione di evaporazione.

→ Regolazione "morbida" e precisa della pressione di evaporazione, senza gradini o discontinuità.



LOP (Lowest Operating Pressure)

- Analogamente alla funzione di MOP, il LOP mantiene la pressione di evaporazione al di sopra di una soglia impostabile con un guadagno impostabile: se un transitorio delle condizioni operative o un set-point del surriscaldamento eccessivo o qualunque altro fenomeno portassero la pressione a valori ritenuti eccessivamente bassi, la routine agisce aprendo in modo progressivo e finemente controllato la valvola di espansione.

Tuttavia questo controllo non è da intendersi come "di regolazione" in senso stretto: si tratta essenzialmente di una gestione di stati di transitorio.

Inoltre, essendo appunto l'azione in direzione di apertura esisterebbe in caso di assenza di limitazione la possibilità di raggiungere aperture eccessive e pregiudicare in tal modo con ritorni di liquido la sicurezza del compressore: la routine di LOP è stata quindi dotata di una sicurezza intrinseca che previene l'apertura in caso di valori troppo bassi del surriscaldamento.

HiTcond

- La speciale funzione di HiTcond, brevettata da Carel, consente di supplire a temporanei aumenti della pressione/temperatura di condensazione tramite la limitazione della potenzialità del compressore a mezzo EEV.

In pratica, quello che viene realizzata è una chiusura controllata della valvola di espansione per ottenere una riduzione del flusso di refrigerante: questo porta ad una riduzione della resa frigorifera all'evaporatore, del calore da smaltire al condensatore ed una conseguente riduzione della temperatura di condensazione.

→ Le unità di condizionamento tecnologico (ad esempio di tipo shelter) sono spesso doppie per evitare l'assenza di servizio in caso di blocco di una delle due: in caso di elevate temperature esterne è possibile che entrambe le unità siano destinate ad entrare in protezione per intervento del pressostato di alta pressione. Con l'utilizzo della routine di HiTcond è possibile evitare questo inconveniente, assicurando un servizio continuativo.

→ Quanto detto sopra vale inoltre anche per altre applicazioni, particolarmente quelle che non hanno altro modo per ridurre la potenza frigorifera, come con la parzializzazione per compressori a vite, inverter ed altro ancora.

Low noise

- Una particolare modalità di funzionamento delle valvole di espansione elettroniche consiste nella possibilità di funzionare sottoalimentando in modo voluto il circuito evaporante e di conseguenza il compressore.

Questo porta, come visto nel funzionamento della routine HiTcond, ad un ridotto carico termico da smaltire al condensatore che può di conseguenza funzionare con i relativi ventilatori a bassa velocità e quindi ridotta rumorosità: questa considerazione, associata al fatto che le temperature esterne notturne sono spesso inferiori a quelle diurne, porta ad una estesa applicabilità di questa funzione nei casi in cui sussistano problemi di rumorosità nei pressi dell'unità.

Infatti, nella maggior parte dei casi una bassa temperatura esterna porta ad un ridotto fabbisogno frigorifero (ad esempio per assenza di irraggiamento) e quindi una riduzione della potenza frigorifera come sopra riportato non crea problemi di disservizio.

Ovviamente quando si opera in questa modalità non è associato un ridotto consumo energetico: la tecnologia ad EEV consente di "pilotare" a piacere il regime di funzionamento delle unità frigorifere e l'utente che propende per un funzionamento Low Noise in regime notturno è probabilmente più sensibile al rumore che non all'alta efficienza ottenibile nelle stesse condizioni.

→ Tutte le unità frigorifere possono utilizzare questa funzione ma applicazioni come unità di condizionamento per centrali telefoniche, ponti radio GSM o UMTS, ecc. sono particolarmente favorite da questa possibilità per l'usuale vicinanza a centri abitati.



Die Expansion des Kältemittels in Klima- und Kälteanwendungen: warum ein elektronisches Expansionsventil?

Die traditionelle Lösung: - TEV

Alle Kühlanlagen für die Klima- oder Kältetechnik benutzen allgemein als Expansionsvorrichtung das traditionelle thermostatische Expansionsventil, das standardmäßig aus der Fühlerkugel - und in fortschrittlicheren Modellen - aus einem Druckabnehmer für die externe Kompensation besteht.

Dieses Drosselorgan, in der Folge TEV (Thermostatic Expansion Valve) genannt, schränkt trotz seiner Funktionstüchtigkeit und Operativität die Kühlanlage in Flexibilität und Leistungen ein.

Natürlich wirken einige Anlagentypen empfindlicher auf die Nachteile der TEV-Regelung, was auf die technischen Daten der Anlage selbst, die Betriebsparameter und/oder die Parameter für die saisonale Verteilung der Arbeitslast zurückzuführen ist.

Die innovative Lösung: - EEV

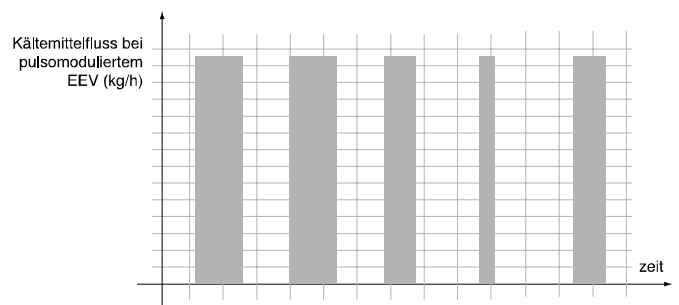
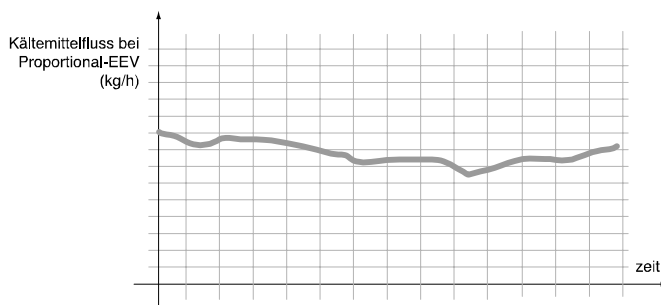
Die Nachteile der TEV-Regelung werden zum Großteil - wenn nicht zur Gänze - mit dem elektronischen Expansionsventil aufgehoben, das in der Folge EEV¹⁷ (Electronic Expansion Valve) genannt wird. Diese elektronische Vorrichtung, die nunmehr seit einigen Jahren am Markt erhältlich ist, regelt den Kältemittelfluss auf variable Weise mit einem Druck- und einem Temperaturfühler (welche für das TEV der Druckabnehmer und die Fühlerkugel sind). Beide befinden sich am Verdampferaustritt, und ihre Werte werden von einer Steuervorrichtung mit optimaler Echtzeit-Regelung der Öffnung des Ventils abgelesen und verarbeitet.

EEV-Typen : -Proportionalventil -Pulsmoduliertes Ventil

Ein variabler Kältemittelfluss kann anhand verschiedener Lösungen erzeugt werden; allgemein wird dabei die Durchflussleistung durch eine Öffnung variiert: einige Ventile variieren den Hub des Ventilkegels oder einer anderer Form (Proportionalventile), andere öffnen und schließen die Öffnung in variablen Zeitintervallen (pulsmodulierte Ventile oder duty cycle-Ventile).

Rein theoretisch gesehen besteht bei einem ausreichend langen Beobachtungszeitraum kein Unterschied zwischen den beiden Regelarten. Eine Proportionalregelung ist aber in Sachen Genauigkeit und Steuerung zu bevorzugen, da eine Pulsmodulation des Kältemittels zu Instabilität und geringeren Leistungen führen kann¹⁸.

Im folgenden Diagramm werden die Methode und der Vorgang der Modulation nach EEV-Typ qualitativ aufgezeigt.



Ein weiterer bedeutender Unterschied zwischen Proportionalventilen und PWM-Ventilen besteht in der Übertragung der Druckpulse in den Kältemittelleitungen, die besonders bei sehr langen Leitungen (in Supermärkten) und bei Flüssig-Gas-Wärmetauschern störend wirken. Die Druckpulse führen zu Funktionsstörungen nicht so sehr im EEV als im Anschlusssystem (Flüssigkeitsleitung, Verteiler, Verdampfer, Wärmetauscher, etc.).

¹⁷ Auch EXV.

¹⁸ Ein duty cycle-Ventil steuert den Pulsfluss des Kältemittels so, dass nur bei einer ausreichend langen Zeit ein "variabler" Dauereffekt erzielt wird.



EEV - Anwendungen und Eigenschaften

Die hier erläuterten Details betreffen alle Kälteanwendungen allgemein, wie Wärmepumpen und Kühlschränke für den Privatgebrauch oder die Industrie, die Klimaanlage für Shelter, für Rechenzentren, Telekommunikationssysteme und allgemeiner Close Control Units, Kühlzellen und Kühlvitrinen.

Welche Eigenschaften machen ein EEV anders und besser als ein TEV?

1. **Kompatibilität mit jedem Kältemittel und sehr großer Regelbereich**
2. **Modulationsgenauigkeit des Kältemittels**
3. **Mikroprozessorgesteuerte Regelung**

Rechtfertigen diese drei Eigenschaften den Übergang von einer TEV-Regelung zu einer EEV-Regelung? Eine detaillierte Analyse ergibt, dass die elektronische Regelung des Kältemittelflusses viele Nachteile der traditionellen Regelung aufhebt und zusätzliche Vorteile schafft.

1. Kompatibilität mit jedem Kältemittel und sehr großer Regelbereich

Diese Merkmale reduzieren die Anzahl der EEV-Modelle, die in den verschiedenen Anlagen benutzt werden, drastisch, da die Unabhängigkeit vom Kältemitteltyp zusammen mit dem grossen Hub des Ventils in den fortschrittlichsten EEV-Modellen eine extrem vielseitige Verwendung dieser Regelorgans ermöglicht:

1.1 Vorteile

Logistik

- *Es gibt keine Unterscheidung der Ventile nach Kältemitteltyp wie für die TEV. Jedes elektronische Expansionsventil ist mit verschiedenen im Handel erhältlichen Kältemitteln kompatibel, einige EEV auch mit weniger üblichen Kältemitteln der Zukunft wie NH₃, CO₂ oder Kohlenwasserstoffe.*
→ **Vereinfachte Logistik** durch weniger Codes, Lagerbestände, Aufträge, Ersatzteile...
- *Kann ein EEV sehr viele Kühlleistungen verwalten?¹⁹ Ein Blick auf einen allgemeinen TEV-Katalog macht deutlich, wie viele Ventilkörper, Anschlussgrößen und Kombinationen nötig sind, um diverse Leistungen abzudecken.*
- **Vereinfachte Logistik** durch weniger Codes, Lagerbestände, Aufträge, Ersatzteile... → Die Kälteanlagen, die normalerweise zwei oder mehrere Verdichter besitzen, um eine Modulation der Kühlleistung zu ermöglichen, können mit nur einem Verdichter (modulierend) vereinfacht werden, da das EEV eine sehr variable Durchflussleistung ohne qualitative Nachteile für die Regelung steuert.
→ In Anwendungen, die von kontinuierlich leistungsgesteuerten Verdichtern oder Stufenverdichtern (Schrauben-, Kolben- oder Scroll-Verdichter) versorgt werden, bringt ein TEV oft viele Probleme der Schwankungen auch nach der Verminderung der Leistung um nur 25% mit sich. Diese Schwankungen senken die Qualität in Sachen Konstanz der Kühlleistung und Lebenszeit der Anlage selbst.

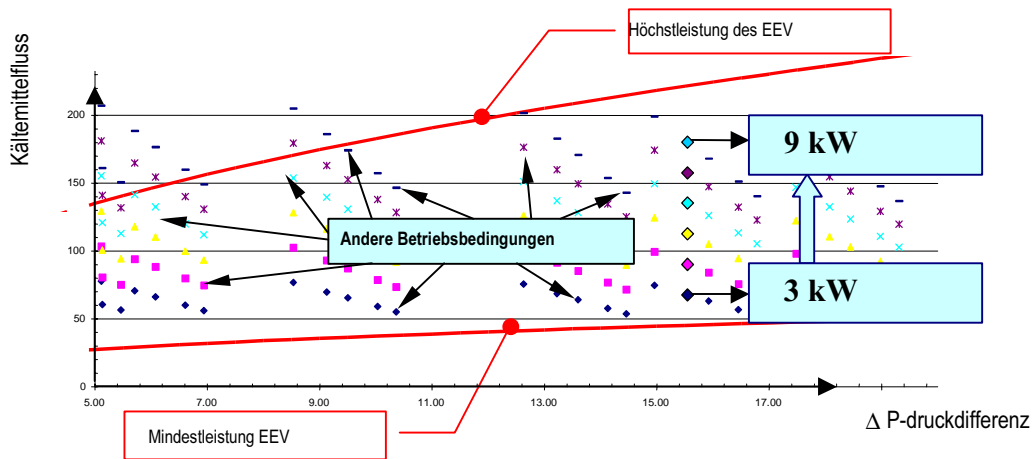
¹⁹ Das E²V Modell E²V-18 deckt Verdichter mit 5kW bis 14kW in Klimaanlage mit R22 (Te=7°C und Tc=54°C), von 4kW bis 13kW in Kälteanwendungen mit R22 (Te=-23°C und Tc=38°C) und von 2kW bis 7kW mit R404a (Te=-23°C und Tc=38°C) ab.



Regelbereich

- Ein EEV bedient diverse Arten von Verdichtern nicht nur bei Nominalbedingungen oder Projektbedingungen, sondern auch bei sehr ausgedehnten Betriebsbedingungen. Die Dimensionierung eines TEV hängt oft von der Anlage und von den Projektbedingungen ab. Sobald die Elemente der Anlage angemessen dimensioniert sind (Wärmetauscher etc.), sind die Betriebsbedingungen unbegrenzt und eine Unter-/Überdimensionierung des Ventils ist nicht mehr ausschlaggebend.

Das nachfolgende Diagramm eines E²V-Ventils von Carel zeigt die oben beschriebenen Eigenschaften und Vorteile auf. Auf der X-Achse ist der Betriebsdruck ΔP des Expansionsventils angegeben²⁰, auf der Y-Achse der Kältemittelfluss (R22) in kg/h; dieser Wert beinhaltet sowohl die Mindest- und Höchstdurchflussleistungen des Ventils (rote Linien) als auch die Verdichterleistung (andersfarbige Punkte).



Das Diagramm zeigt die Leistungen der verschiedenen Verdichter (von 3 bis 9 kW bei Nominalbedingungen für die Klimaanlage²¹): die größeren Punkte stellen die Nominalbedingungen dar.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass das untersuchte Ventil (Carel E²V-14) fähig ist, die geprüften Verdichter in jedem Betriebszustand zu steuern.

Die Betrachtungen gelten natürlich auch für die anderen EEV, sofern der Regelbereich effektiv so groß wie jener eines E²V-Ventils von Carel ist.

→ **Kein Nachteil für Klimazonen, Betriebstemperaturen, Änderung der Arbeitssollwerte, etc.**

→ Besondere Anwendungen wie jene der Nahrungsmittelindustrie verlangen Kühlanlagen, deren einzelne Betriebsbedingungen sich aufgrund verschiedener Verdampfungstemperaturen oft bedeutend voneinander unterscheiden. Eine TEV-Regelung bringt notwendigerweise eine Expansions-Duplikation des Kältekreises mit sich, während die EEV-Technologie die Komplexität und die Kosten der Anlage deutlich verringert, da sie im gesamten vorgesehenen Arbeitsbereich arbeiten kann.

²⁰ Kondensationsdruck minus Verdampfungsdruck, ausgedrückt in Bar.

²¹ Diese Betrachtungen gelten ebenfalls für Kälteanwendungen.



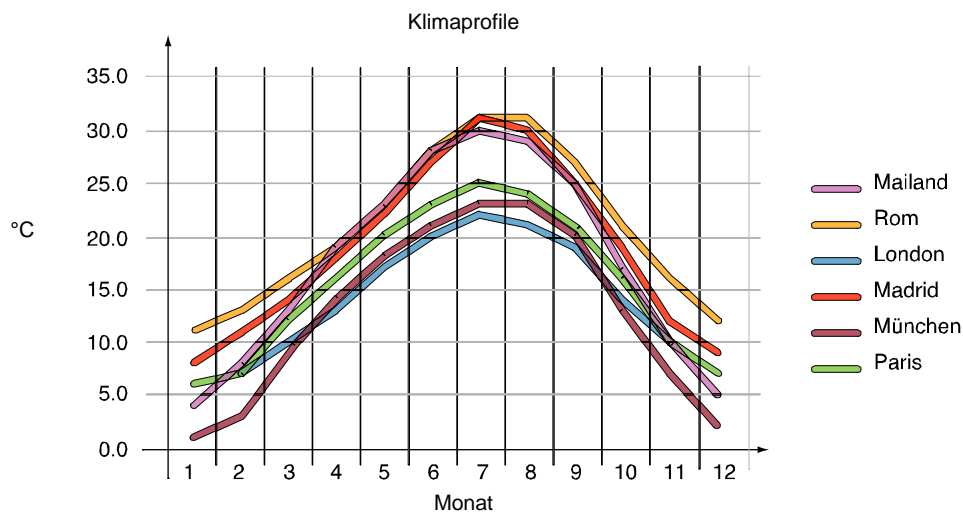
Energieeinsparung

- Besondere Aufmerksamkeit verdient der niedrige Kondensationsdruck der Anlage: die einzigen Grenzen bei der EEV-Regelung sind der Mindestdruck ΔP , der mit dem benutzten Verdichter kompatibel sein muss, sowie die Außentemperatur. Wie oben angegeben kann ein TEV normalerweise in einem engen Bereich um seine Nennwerte herum arbeiten; also ist es nicht möglich, die tiefen Außentemperaturen zu nutzen, um die Leistungsfähigkeit der Kühlanlage zu erhöhen.

→ Mit dem EEV können bedeutende **Energieeinsparungen** für die Steigerung der jährlichen Durchschnittsleistung des Verdichters (auch um 25%²²) erzielt werden. Vorauszusehen ist eine Leistungssteigerung um 2% pro °C Kondensationstemperatur weniger. Dies ist deshalb möglich, weil der EIN/AUS-Verdichter die EIN-Zeit reduziert, während der leistungsgeregelte oder Inverterverdichter für dieselbe Leistung bei milderem Betrieb arbeitet.

Besondere Aufmerksamkeit gilt den Verwendungsmöglichkeiten der EEV-Technologie in **technologischen Kälteanlagen (Close controls,...)** und in **Supermärkten** oder **bei großen Lebensmittelkühlagern**: für diese Kategorien sind die erzielbaren Energieeinsparungen bedeutend und sicherlich interessant für den Endnutzer, aber auch für den Konstrukteur oder OEM, die eine hochinnovative Lösung anbieten können.

Beispielshalber wird die Klimelage verschiedener europäischer Städte wiedergegeben: die Zeiträume mit besonders tiefen Kondensationstemperaturen sind auch in Städten mit mäßigem Klima ausgedehnt, was bestätigt, dass die Einsparung mit der EEV-Technologie oft relevant ist.



²² Eine Einsparung von 25% ist eine Schätzung für Klima- und Kälteanlagen, die das gesamte Jahr bei gemäßigttem Klima in Betrieb sind. Für saisonal betriebene Anlagen (z. B. Kaltwassersätze für Privatgebrauch) ist die Einsparung zwar geringer, aber trotzdem bedeutend.

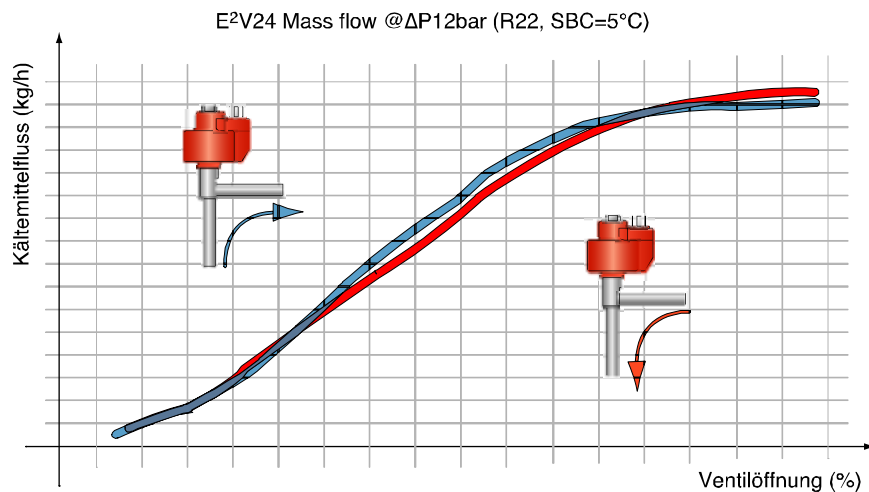


2. Modulationsgenauigkeit des Kältemittels

Die mechanische Eigenschaft des EEV, einen weiten Regelbereich zu ermöglichen (in den besten Modellen mit Proportionalregelung), ist auf die Länge des Pins zurückzuführen, der über 10 mm erreichen kann: hier ist im Vergleich zu den besten traditionellen TEV von einer viel genaueren Regelung die Rede.

Für die Regelung des Kältemittelflusses ist diese Genauigkeit und Auflösung von Nutzen: in allen Kälteanlagen sowohl im Klima- als auch Kältebereich ist eine stabilere Regelung der Überhitzung²³ und tiefere Kondensationstemperaturen im Vergleich zu einem TEV sicherlich vorteilhaft.

Besonderes Interesse gilt den bidirektionalen Ventilen, die das Kältemittel linear zur Öffnung in beide Durchflussrichtungen befördern können: es folgt ein Probediagramm, das aus einer Leistungsprobe eines EEV von Carel des Typs E²V-24 resultiert.



Hier wird die fast perfekte Linearität des Durchflusses mit der Öffnung sowohl bei hohen als auch tiefen Werten offensichtlich.

Eine detaillierte Analyse der Möglichkeiten, die eine genaue Modulation des Kältemittels zur Regelung der Überhitzung mit sich bringt, ergibt Folgendes.

Stabiler Überhitzung (SH)

- Die Regelung der Überhitzung mit einem EEV erfolgt meistens stabiler und kontrollierter als mit einem TEV: der Sollwert wird bei der Änderung der Arbeits-, Saisons-, und Betriebsbedingungen der Kälteanlage beibehalten.

→ Konstante Kühlleistung der Anlage mit schneller Stabilisierung nach dem Start. Keine Notwendigkeit, den Arbeitssollwert bei Änderung der Betriebsbedingungen neu einzustellen.

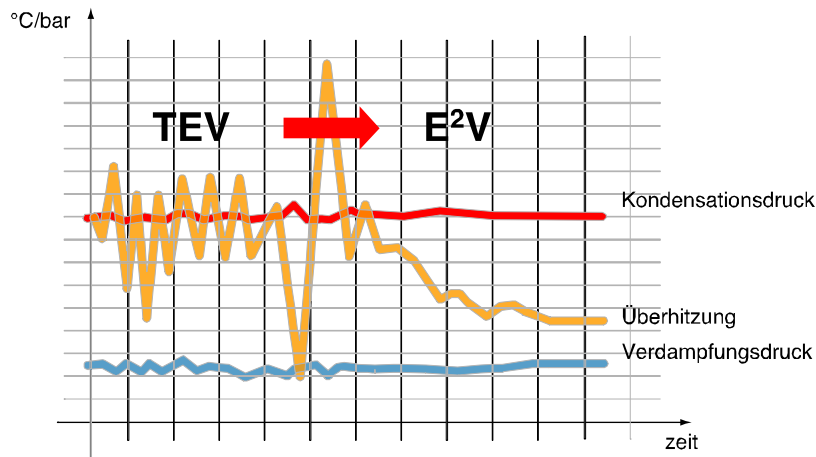
²³ Die Überhitzung ist die Differenz zwischen der thermometrischen und manometrischen Temperatur am Verdampferausgang.



Niedrige Überhitzung (SH)

- Neben der höheren Stabilität ergibt sich auch eine Verminderung der Überhitzung durch Senkung des Sollwertes auf den gewünschten Wert: diese Möglichkeit der Regelung mit EEV vermeidet die Gefahr von Schwankungen (hunting), die typisch für ein TEV sind.

Das Diagramm unten zeigt die Wirkung einer Umschaltung von der TEV-Steuerung auf die EEV-Steuerung eines Kaltwassersatzes: die Senkung der durchschnittlichen Überhitzung und die Stabilität dieser und des Arbeitsdruckes sind offensichtlich.

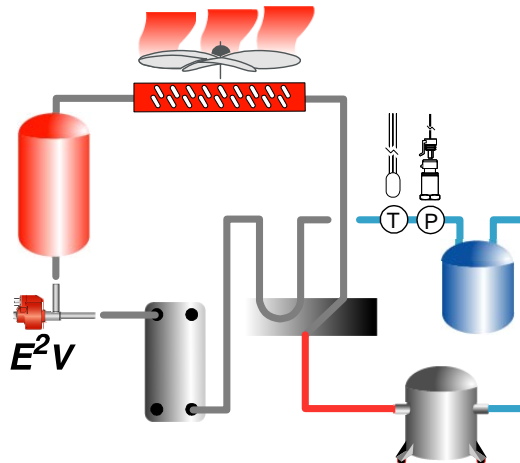


→ Die Verminderung des Überhitzungssollwertes hat oft die Erhöhung der Kühlleistung der Anlage mit folglichem Anstieg des Verdampfungsdruckes und eine bessere Nutzung der Tauschfläche des Verdampfers zur Folge²⁴.

Bidirektional

- Wird ein bidirektionales EEV (wie das E²V von Carel) in einer umkehrbaren Wärmepumpe benutzt, muß auch nur ein Expansionsventil EEV anstelle der beiden traditionellen TEV installiert werden.

→ Eine umkehrbare Wärmepumpe ist eine ideale Anwendung für ein EEV, da neben den Vorteilen, die sich für alle Anwendungen mit ihren wirtschaftlichen und technischen Nutzen ergeben, eine Betriebskostenreduzierung der Anlage (Verwendung von nur 1 Ventil) und die Vereinfachung des Kältekreislaufes möglich sind.



²⁴ Diese Erhöhung ist in Prozent ausgedrückt nicht bedeutend, da der Sollwert unter 5°C liegt und es somit besser ist, außer in Sonderfällen einen Sollwert von über 4°C einzustellen und eine stabilere Regelung zu bevorzugen.



3. Mikroprozessorgesteuerte Regelung

Das ein elektronisches Expansionsventil von einem Mikroprozessor gesteuert wird, der sowohl die Schrittsequenz festlegt als auch über den aktuellen Bedarf an Kältemittel für den Verdampfer entscheidet, könnte als eine logische Folge dessen erscheinen, dass es sich um ein elektronisches Ventil handelt. In Wirklichkeit gehen die Möglichkeiten, die sich aus der Tatsache ergeben, dass das EEV nur dort positioniert wird, wo es der Regler entscheidet, über die einfache Regelung der Überhitzung wie beim traditionellen TEV-Ventil hinaus: in diesem Sinne müsste der Satz oben folgendermaßen korrigiert werden: „der über den **aktuellen und angemessenen** Bedarf an Kältemittel entscheidet...“

Das heißt nicht, dass die Beschränkung auf den Überhitzungswert als Steuersignal die beste Lösung ist: Variablen wie MOP (Maximum Operating Pressure) und LOP (Lowest Operating Pressure), aber auch weitere sind mit einem Mikroprozessorregler möglich. Auf jeden Fall können auch sie mit einem EEV im Vergleich zu einem TEV deutlich verbessert werden. Die Möglichkeit, dem EEV die gewünschte Position aufzuerlegen, macht außerdem zahlreiche Verwendungen mit der beschriebenen Technologie möglich, die je nach technischen Anforderungen kundenspezifisch gestaltet werden können: doppelter Sollwert, besondere Start- oder Stopp-Verfahren, besondere Situationen wie geflutete Verdampfer etc.

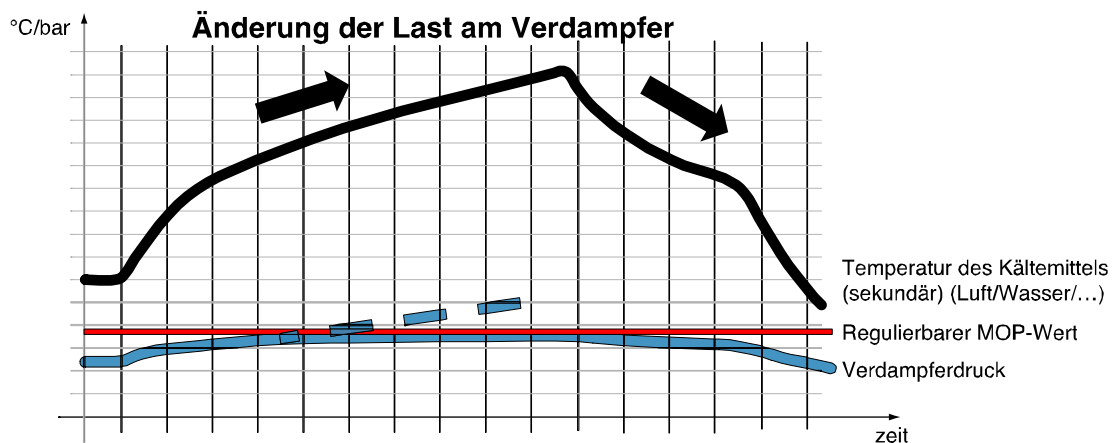
Es gibt keine Einschränkungen für mögliche Entwicklungen der Regelungssoftware.

In der Folge werden die Daten der Regelungssoftware der neuesten Carel-Regler angegeben, die für fortschrittliche Stand-alone- und built-in-Kälte- und Klimasysteme (pLAN und lokale Netzwerke) verfügbar sind.

3.1 Vorteile

MOP(Maximaler Betriebsdruck - Maximum Operating Pressure)

- Der MOP begrenzt den Verdampfungsdruck, dessen Wert mittels Druckfühler direkt vom EV-Treiber für die Berechnung der Überhitzung gemessen wird, nach oben. Dieser Wert konfiguriert die Schwelle und Proportionalkonstante oder Betriebsenergie und hält den Druck genau und stabil unter dem oder am eingestellten Wert, wie aus dem folgenden Diagramm ersichtlich ist.



Die typische Aktion dieser Steuervorrichtung ist die fortlaufende Schließung des Expansionsventils, um den Verdampfungsdruck einzuschränken: dies führt zur Erhöhung der Überhitzung und Gastemperatur am Verdampferaustritt (oder der Temperatur des überhitzten Gases oder Sauggases).

Eine nicht kontrollierte Aktion könnte gefährliche Werte für den Verdichter mit sich bringen; aus diesem Grund müsste der Regler über einen Höchstwertbegrenzer des überhitzten Gases verfügen: diese Funktion ist in den Regelalgorithmen von Carel vorhanden und garantiert eine nie zuvor mögliche Leistung und Sicherheit.

→ Starts mit hohen Verdampferlasten in totaler Sicherheit für den Verdichter: somit werden gefährliche hohe Verdampfungsdruckwerte, vermieden.

→ „Weiche“ und genaue Regelung des Verdampfungsdruckes ohne Stufen oder Kontinuitätsstörung.



LOP(Minimale Betriebsdruck - Lowest Operating Pressure)

- Analog zum MOP hält der LOP den Verdampfungsdruck über einer einstellbaren Schwelle und Proportionalkonstante: bringen zeitweilige Betriebsbedingungen, ein übermäßiger Überhitzungssollwert oder ein anderes Phänomen den Druck auf zu tiefe Werte, öffnet die Routine das Expansionsventil auf kontinuierliche und kontrollierte Weise.

Diese Steuerung ist aber nicht als übliche „Regelung“ zu verstehen, da es sich vor allem um die Verwaltung von zeitweiligen Zuständen handelt.

Da die Aktion eine Öffnung bewirkt, würden bei fehlender Einschränkung übermäßige Öffnungen erreicht, was die Sicherheit des Verdichters wegen der Flüssigkeitsrückflüsse beeinträchtigen würde. Die LOP-Routine wurde somit mit einer internen Sicherung ausgerüstet, welche die Öffnung bei zu niedrigen Überhitzungswerten verhindert.

HiTcond

- Die Sonderfunktion HiTcond, die von Carel patentiert wurde, gleicht zeitweilige Anstiege des Kondensationsdruck/der Temperatur durch die Begrenzung der Verdichterleistung mittels EEV aus.

Es erfolgt praktisch eine kontrollierte Schließung des Expansionsventils, um den Kältemittelfluss zu vermindern: dies führt zu einer Reduzierung der Kühlleistung am Verdampfer, der abzubauenen Wärme am Kondensator und zu einer Senkung der Kondensationstemperatur.

→ Die technologischen Klimaanlage (wie Shelters) sind oft doppelt vorhanden, um den Betrieb bei Ausfall einer der beiden zu gewährleisten: bei hohen Außentemperaturen kann es vorkommen, dass beide Anlagen ihre Sicherungen aufgrund des Eingriffes des Überdruckreglers aktivieren. Dank der HiTcond-Routine kann diese Situation vermieden und ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet werden.

→ Das oben Beschriebene gilt auch für andere Anwendungen, insbesondere für jene, die keine andere Möglichkeit haben, die Kühlleistung zu reduzieren, als mit leistungsgeregelten Schrauben-, Inverterverdichtern o.a.

Low noise

- In diesem Funktionsmodus wird die Kälteleistung der Anlage auf ein Minimum verringert. Dies führt wie bei der HiTcond-Routine zu einer reduzierten thermischen Last am Kondensator, dessen Ventilatoren also mit niedriger Geschwindigkeit und geräuscharm arbeiten können: zusammen mit der Tatsache, dass die nächtlichen Außentemperaturen oft unter den Tagestemperaturen liegen, kann diese Funktion also dann eingesetzt werden, wo Lärm in der Nähe der Anlagen ein Problem darstellt. In den meisten Fällen führt eine niedrige Außentemperatur zu einem geringeren Kühlbedarf; eine Senkung der Kühlleistung führt also nicht zu Funktionsstörungen.

Dieser Modus ist aber nicht mit einer Energieeinsparung verbunden: mit der EEV-Technologie kann eine Kälteanlage nach Belieben „betrieben“ werden, und der Benutzer der Low Noise-Funktion in der Nacht ist wahrscheinlich mehr an der Senkung des Lärmpegels interessiert als an einer hohen Leistungsfähigkeit unter denselben Bedingungen.

→ Alle Kälteanlagen können diese Funktion benutzen; für Klimaanlage für Telefonzentralen, GSM-/ UMTS-Funkbrücken etc. ist diese Möglichkeit aufgrund der üblichen Nähe zu bewohnten Ortszentren von Nutzen.

Divulging, modifying, translating and/or reproducing this document, in part or in full, is prohibited without the written authorisation of Carel S.p.A.

È proibito divulgare, modificare, tradurre e/o riprodurre questo documento, in tutto o in parte, senza autorizzazione scritta di Carel S.p.A.

Die Verbreitung, Änderung, Übersetzung und/oder vollständige oder partielle Wiedergabe dieses Dokuments ist ohne schriftliche Ermächtigung von Carel S.p.A. untersagt.

CAREL

Technology & Evolution

CAREL S.P.A.

Via dell'Industria, 11 - 35020 Brugine - Padova (Italy)

Tel. (+39) 049.9716611 Fax (+39) 049.9716600

<http://www.carel.com> - e-mail: carel@carel.com

